

太陽電池開発の動向と展望

吉田 隆 (よしだ たかし)

藤掛 伸二 (ふじかけ しんじ)

① まえがき

太陽電池開発の歴史は1954年、米国ベル研究所で、単結晶シリコンを用いた太陽電池が発明されたことに始まる。その後、研究が進み、1950年代後半から1960年代初頭にかけて、人工衛星搭載用電源などの高付加価値用途への適用が始まった。

わが国でも、1974年の石油危機を契機として、電力用途を目指した大規模研究〔通商産業省（現経済産業省）「サンシャイン計画」など〕がスタートした。

1980年代後半に入ると地球温暖化をはじめとする環境問題が注目され始めた。温室効果の約6割は二酸化炭素に起因し、うち8割は化石燃料の消費によるものと考えられている。太陽電池は、メンテナンスの必要がなく、二酸化炭素を発生しないため、新エネルギー源としての期待に加え、地球環境問題解決のための期待も集め始めることとなる。

1997年12月には京都で、「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」(COP3)が開かれ、地球温暖化防止に関する京都議定書が採択された。この議定書には、2010年前後の、先進国の温室効果ガス排出量削減について、各国ごとに拘束力のある数値目標を設定することが記載されている。その後、COP6において、京都議定書の2002年発効に対する基本的合意が得られたこともあり、今後、環境への負担が少ない新エネルギーの導入にますます拍車がかかるものと予測される。

現在使用されている太陽電池の大部分は結晶シリコン系太陽電池である。標準状態（室温近傍）での変換効率は14～16%と高いが、基板の板厚が数百 μm と厚いため原料となる高純度なシリコンの供給に課題があると考えられている。

富士電機が開発に取り組んでいるのは、プラスチックフィルム基板上に厚さ1 μm 以下の薄膜半導体を形成するアモルファスシリコン太陽電池である。使用材料が少ないため原料供給に課題が少ない、量産性が高く低コスト化が期待できるなどの利点があり、これからの大規模普及太陽

電池の主流になると考えられている。

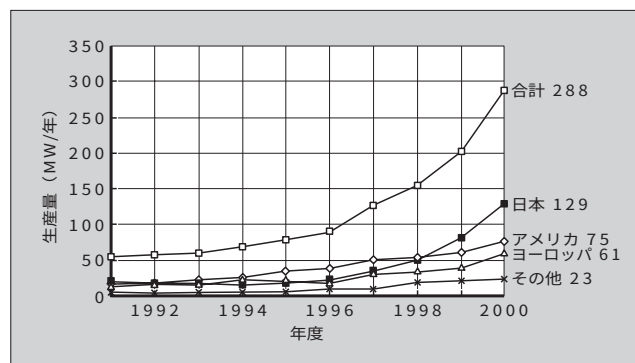
② 市場動向

2.1 生産量の推移

1997年以降、太陽電池産業の急拡大が続き2000年の太陽電池の生産量は約300MWとなった(図1参照)。一般への普及が始まり、生産量が100MWに達したのが1997年、この大台を超えるまでに20年の歳月を費やしたことを考えると、昨今の市場の立上りがいかに急速であるかが理解できる。日本の生産量は2000年で128MW、1999年に引き続き世界第一位である。この急拡大の背景には、製造技術の進歩によりコスト低減が進んだことに加えて、太陽電池普及のための施策を日米欧各国の政府が実施したことがある。日本における太陽電池普及策はこの中で先駆的な役割を果たし、これにアメリカの100万軒ソーラールーフイニシアチブ(Million Solar Roofs Initiative: MSRI)、ドイツの住宅用太陽光発電システム10万軒導入計画、イタリアの建物用太陽光発電システム1万軒導入計画などが続いている。世界中で始動したこれらの動きをきっかけとして、2001年度には、太陽電池モジュールの需要が大きく伸び、世界の太陽電池メーカーが大規模な製造設備の増設を開始することとなった。

普及策による経済性の確保がインセンティブとなり、太

図1 世界における太陽電池生産量の推移(国別と合計)



吉田 隆

電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室長。電気学会会員、応用物理学会会員。



藤掛 伸二

電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室。応用物理学会会員。

表1 日本における太陽電池普及拡大予算の推移

(単位: 億円)

年 度	1998	1999	2000	2001	2002
太陽電池導入促進のための事業など					
住宅用太陽光発電システム導入基盤整備事業	147.0	160.4	145.0	235.1	232.0
産業等用太陽光発電フィールドテスト事業	24.0	24.1	40.0	19.9	45.0
公共施設等用太陽光発電フィールドテスト事業	1.7	1.1	1.0	0.7	終了
太陽光発電システム国際共同実証開発	2.8	2.6	2.8	2.8	8.0
系統連系円滑化のための技術的検討強化	2.9	3.4	3.4	—	—
集中連系型太陽光発電システム実証研究	—	—	—	—	1.0
その他技術開発促進	82.4	93.6	96.1	63.6	73.0
合 計	260.8	285.2	288.4	322.1	359.0

陽電池が広く世界のユーザーに認知され始めたことは明らかである。

2.2 日本における導入促進策

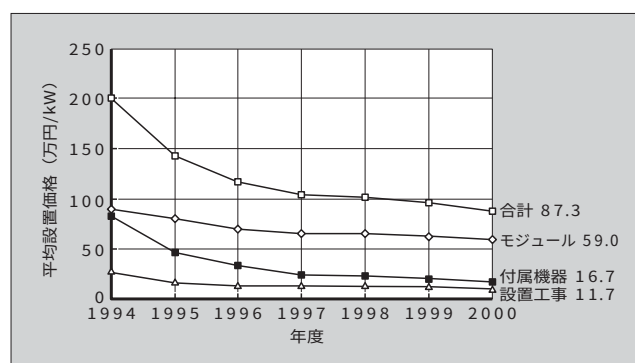
日本国内では、過去5年間の積極的な普及拡大策が効果を奏して、市場が拡大しつつある。ここ5年間の開発導入促進予算の推移を表1に示す。財政構造改革から全体が緊縮型予算となる中で2002年度の太陽光発電システムの開発導入促進予算は359億円と10%の伸びを示し、日本の積極的な取り組み姿勢が理解できる。予算の内訳を見ると個人住宅への普及を補助する住宅用太陽光発電システム導入基盤事業整備事業が232億円、企業などによる導入を助成する「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業」が45億円と、これらの普及促進予算が全体の77%を占めていることが分かる。一方、住宅用太陽光発電システム1件あたりの補助額は当初全システム価格の1/2であったが、1/3の補助を経て、2001年度には1kWシステムあたり12万円へと減額され、より多くの希望者を募る形態へと変化した。2002年からは、一地域への大規模導入を対象とした集中連系型太陽光発電システム実証研究が始まり新たな局面を迎えている。今後も、制度は変わるが、国、地方自治体を中心に積極的な普及拡大策が施行されていくものと考えられる。

2.3 技術動向

平均的な3kW太陽電池システムにおけるkWあたりの価格単価の推移を図2に示す。2000年時点での平均的な設置価格は87万円/kWである。このうち、モジュール価格は59万円/kWで約77%、その他は、インバータなどの機器、設置工事などが23%を占める。補助金を差し引き、住宅用の電力料金が比較的高価であることを考慮しても、イニシャルコストの償却には20年以上を必要とするのである。太陽電池を大規模に普及させるための第一の必要条件は、まず、太陽電池システム価格を現状の1/2以下へ引き下げることである。

太陽電池が普及している分野を見ると、電力料金が比較的高い住宅用途が先行している。発電コストの低減が進むにつれて、大規模建築や遊休地利用へと用途が拡大していくと考えている。現在の日本市場についても、住宅用途が

図2 太陽電池システムのkWあたりの設置価格の推移



大部分を占め、当面は、この傾向が継続するものと考えられる。

これらの住宅用太陽電池は、既存住宅屋根へ設置する既設型と屋根機能を兼ね備えた建材一体型太陽電池とに分類できる。新設物件や屋根ふき替え需要に関しては、設置コストが安く、建物との調和がとれた建材一体型太陽電池が徐々に増え、今後の普及の中心を占めるものと考えられる。

③ 富士電機が取り組むフィルム基板アモルファスシリコン太陽電池

3.1 開発の経緯

富士電機のアモルファスシリコン太陽電池への取り組みは1978年に始まる。これは、1976年にアモルファスシリコンがp-n制御可能であることが発見されてからわずか2年後のことである。1980年には世界に先駆けて電卓用アモルファスシリコン太陽電池の開発に成功し、これを商品化した。同時に、「サンシャイン計画」へ参画し、これ以降、電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究開発を進めてきた。この間、ガラス基板を用いた二層タンデム構造太陽電池（30cm×40cm）を開発し、安定化効率が8%を超えることを示し、アモルファスシリコン太陽電池が電力用途として使用可能なことを世界に先駆けて実証した。この開発を通じて浮上した課題は、ガラスの熱容量が大きく加熱時間が長いことや、ガラス基板の搬送治具が大型で真空排気に必要な時間が長いことなどである。これらの課題解決なしに、数分間隔で大量の太陽電池を生産すること

は難しい。

これらの課題を解決するために、富士電機は1994年から、厚さ50 μm のプラスチックフィルムを基板としたアモルファスシリコン太陽電池（図3）の開発に着手した。

3.2 生産技術の進歩と発電性能

ガラス基板と異なり、フィルム基板の熱容量が小さいため加熱に要する時間は数秒単位、長さ1,000mのロールを一括して真空装置内へセットし、真空中でロールからロールへ自動的に搬送するロールツーロールシステムが構築可能である。また、生産能力を左右する最も重要な課題の一つであった、アモルファスシリコン膜の製膜速度も大幅に改善できることが分かってきた。ここ数年の製膜速度の進歩を図4に示すが、良好なデバイスを形成するためのアモルファスシリコン膜の製膜速度は現在20nm/minを超え、1997年の数nm/minに比べ、約10倍となった。これらの製膜技術の進歩に加えて、富士電機独自の直列接続構造SCAF（Series-Connection through Apertures formed on Film）の面積効率改善とパターン加工技術の高速化も進み、数分単位で各工程の処理が終了するタクト5分量産プロセスの構築にめどが立ちつつある。

これらの製造技術の改良に加え、デバイス構造の改善も進んだ。富士電機で開発したボトムセルにシリコンとゲル

図3 プラスチックフィルムアモルファスシリコン太陽電池

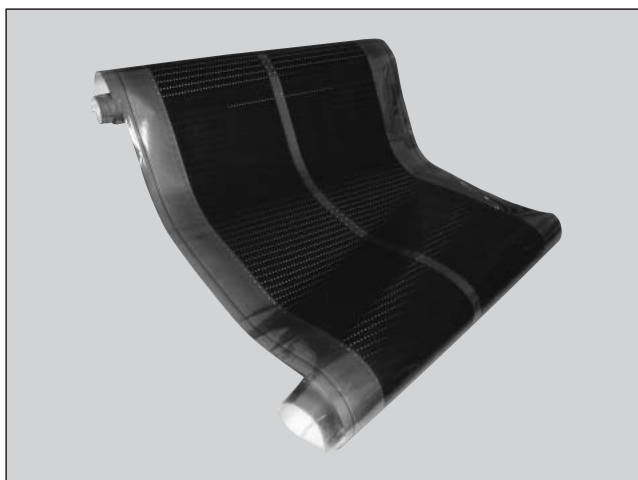
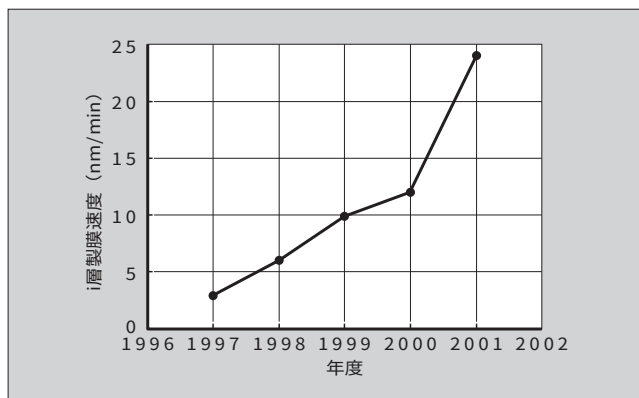


図4 アモルファスシリコン成膜速度の進歩



マニウムの合金を採用した二層タンデムセルのデバイス構造を図5に示す。シリコンゲルマニウムは、アモルファスシリコンと比べ、より長波長の光を利用することができるため、単位面積あたりの発電電流はアモルファスシリコン単独の場合と比べて約2割増え、発電効率もこれにほぼ比例して改善された。

太陽光スペクトラムと、これらの太陽電池が有効に利用できる光の波長を図6に示す。アモルファスシリコン太陽電池は、ほぼ可視域の光を利用し、結晶シリコン太陽電池は、より長波長の光を利用していることが分かる。これは、半導体のエネルギーギャップが異なるために利用する光の波長域が異なるためである。エネルギーギャップの小さい結晶シリコン太陽電池は性能の温度依存性が強く、モジュールが動作する50 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温で、室温に比べて発電特性が低下する欠点がある。フィールドテストの結果、室温で測定したモジュールの発電容量で規格化すると単位容量あたりの年間発電量はアモルファスシリコン太陽電池の方が結晶シリコン太陽電池より1割以上大きいことが分かってきた。

図5 二層タンデムセルのデバイス構造

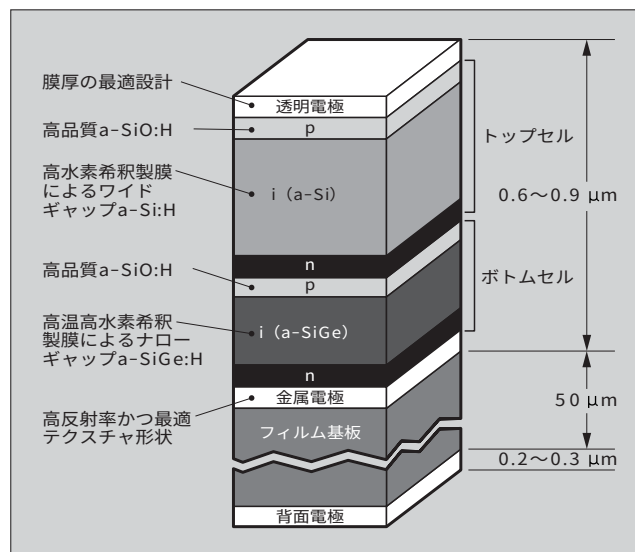
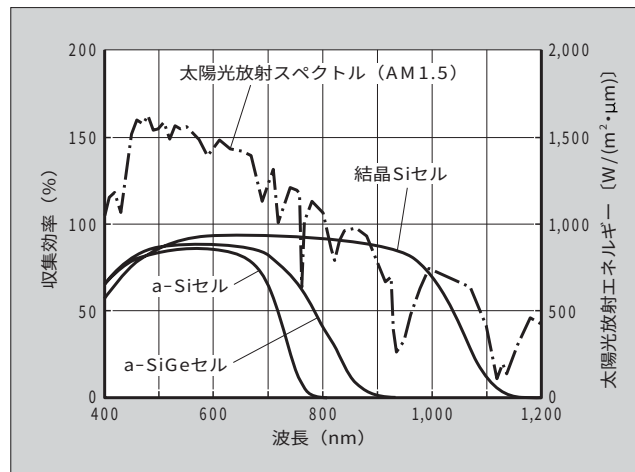


図6 太陽光スペクトラムと各種太陽電池の感度特性



3.3 屋外における信頼性の確認と応用

神奈川県横須賀市にある(株)富士電機総合研究所の健康増進センター屋根上に、建材メーカーと共同開発した瓦張り付け型の建材一体型太陽電池と、表面をガラスで覆った従来型太陽電池を各3kW設置して、屋外での発電特性を調べるフィールド実証を進めている。設置からすでに3年が経過したが、どちらの太陽電池も安定に発電を続け、モジュールの封止構造を変えても発電性能に差が見られないことが分かってきた。

これらのフィールドテスト結果に加えてさまざまな信頼性試験を実施し、変換効率8%以上の樹脂封止型太陽電池を屋外で使用するめどがついたと考えている。今後、独自のSCAF構造で高電圧が得られ配線が容易なこと、電池が軽量で屋根や壁などの建材に張り付けて簡単に建材一体型太陽電池が構成できることを生かして、各分野への適用を進めていく。

4 あとがき

幾つかの視点から、太陽電池開発の歴史をたどり、その

現状を総括してきたが、発電をその最終目的とする限り、最も重要な開発因子はコストである。富士電機の開発するフィルム基板太陽電池は、生産工程が自動化に適している。タイムリーな用途開発を進めることにより、従来の重厚なイメージを一新する新しい形態の太陽電池を世の中に送り出し、次世代を担う量産型太陽電池の旗手として、世界に貢献できると考えている。

太陽電池の実用化は、それ自体が地球環境への貢献を意味する。自然との調和を基本理念の一つに掲げる富士電機も、使命を感じ、この開発に取り組んでいる。

ここで紹介した成果の一部は、通商産業省工業技術院(現経済産業省)「ニューサンシャイン計画」のもと、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託研究により得られた成果を適用したものであり、関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) 太陽光発電情報. 資源情報システム. 2001-12.
- (2) 12年度新エネルギー関連データ集作成調査. NEDO. 2001, p.I-126.
- (3) 市川幸美, 原嶋孝一. アモルファスシリコン太陽電池の開発. 富士時報. vol.73, no.4, 2000, p.249-252.

解説 バイオマスエネルギー

バイオマスとは、本来生態学の用語で生物の集合体を意味している。エネルギー資源の分野では、ある一定量集積した動植物に由来する有機性資源をバイオマスといい、バイオマスの燃焼、発酵などにより得られるエネルギーをバイオマスエネルギーという。

バイオマスのエネルギーへの変換技術としては、大別すると、燃焼、生物化学的変換、熱化学的変換の三つに分けられる。

生物化学的変換はエタノール発酵によるエタノールの生成や嫌気性発酵によるメタンの生成などがある。熱化学的変換としては、熱分解、直接または間接液化

によるガス化や液体燃料の生成がある。このうち、すでに実用化になっているのは、一般廃棄物や廃木材などの直接燃焼による発電や、さとうきび、とうもろこしなどからエタノールを回収するエタノール発酵、下水汚泥や家畜ふん尿の嫌気性発酵によるバイオガス(メタン)の発生、炭化などである。

現在はこれに加えて木質バイオマスのガス化や液化による発電、生ごみ(一般廃棄物)のメタン発酵によるバイオガス発電などの実用化を目指して開発を進めている。

(関連論文: 295 ~ 298 ページ)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。